

PENGARUH LAJU ALIRAN FLUIDA TERHADAP EFISIENSI TERMAL PADA KOLEKTOR PANAS MATAHARI JENIS PLAT DATAR

EFFECT OF FLUID FLOW RATE ON THERMAL EFFICIENCY IN FLAT-PLATE SOLAR COLLECTOR

Yan Dewa Prabawa¹, Mukhammad Ramdhan Kirom², Tri Ayodha Ajiwiguna³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom Jalan Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

yandebenz@students.telkomuniversity.ac.id¹ m.ramdlankirom@telkomuniversity.ac.id²
triavodha@telkomuniversity.ac.id³

ABSTRAK

Flat-plate solar collector (FPC) merupakan salah satu aplikasi panel surya. FPC dapat mengumpulkan dan menyerap radiasi sinar matahari ke arah bagian plat penyerap dengan bergantung luasan kolektor. Model FPSC terdiri dari penyerap berbahan plat tembaga, pipa penerima yang berbahan tembaga.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh laju aliran fluida kerja yang mengalir terhadap efisiensi termal. Desain kolektor panas dibuat dengan lebar 0,59 m, panjang 0,87 m, sudut penempatan kolektor 15° tegak lurus dengan matahari.

Pengujian dilakukan menggunakan bahan pipa penerima dengan panjang total 5.46 m dan debit aliran fluida divariasikan dari 0,1 liter/menit sampai dengan 0,5 liter/menit. Hasil yang diperoleh selama 5 jam dari pengujian pada bahan pipa penerima dan debit aliran fluida 0.3 liter/menit menghasilkan nilai efisiensi panas 85%. Dari seluruh pengujian menunjukkan bahwa perbedaan temperatur input dan output fluida pada pipa penerima, dan debit aliran fluida dapat mempengaruhi efisiensi FPC.

Kata kunci : *Flat-plate solar collector, variasi debit aliran fluida, efisiensi panas.*

ABSTRACT

Flat-plate solar collector (FPC) is one of the solar panel applications. FPC can capture solar radiation towards the absorber plat with a collector area depends solar radiation to a focal point. Model FPC consists of a capture which is made from copper plate, pipe receiver is made from copper.

The purpose of this study is analyzing the effect of flow rate fluid and the receiver to thermal efficiency of the collector. Design thermal collectors made with a width of 0.59 m, length 0.87 m, angle of 15° with of perpendicular to the sun.

The test using the receiver pipe with a full-length 5.46 m and the fluid flow rate varied from 0.1 liter/min to 0.5 liters/min. The results obtained during 5 hours of testing on the pipe and a flow rate of 0.3 liters/min produces efficiency thermal 85%. From all the test showed that the difference of temperature input and output on the receiver pipe, and the flow rate of fluid can affect the thermal efficiency of FPC.

Key Word : *Flat-plate solar collector, flow rate variation, thermal efficiency.*

1. Pendahuluan

Dari tahun ke tahun kebutuhan akan penggunaan energi semakin meningkat dengan bertambah banyaknya manusia di dunia. Adanya keterbatasan cadangan energi fosil mengakibatkan krisis energi mulai melanda dunia. Salah satu cara untuk melakukan penghematan adalah mencari sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable*). Salah satu contoh energi terbarukan yaitu energi matahari yang mempunyai potensi besar sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan.

Kolektor panas matahari adalah suatu alat yang memanfaatkan energi panas matahari salah satu dengan cara mengumpulkan dan menyerap panas oleh fluida kerja (air) yang mengalir di dalam pipa penerima pada kolektor^{[1][2]}. Beberapa jenis kolektor yang digunakan dalam proses panas matahari dibagi menjadi dua yaitu pertama tipe *non-concentrating* : plat datar dan *evacuated tube* yaitu dengan mengkonsentrasikan radiasi sinar matahari ke arah bagian plat penyerap dengan bergantung dengan luasan kolektor, sedangkan untuk tipe *concentrating* : palung parabola, piringan parabola, *heliostat field collector*, dan *compound parabolic collector* dengan memanfaatkan terpaan radiasi matahari dengan cara mengumpulkan radiasi sinar matahari yang datang dan memantulkan ke sepanjang titik fokus parabola^[1].

Adapun penelitian tentang kolektor plat datar yang dilakukan oleh Sulaeman dan Darul Mapasid dengan sistem aktif menghasilkan kesimpulan kecepatan aliran fluida mempengaruhi efisiensi dari kolektor panas dengan berbagai variasi debit yaitu debit aliran 3 liter/menit, 5 liter/menit, 7 liter/menit, dan 9 liter/menit, dimana pada 5 liter/menit memiliki efisiensi paling baik sebesar 86%, ini dipengaruhi oleh intensitas matahari yang diterima oleh kolektor dan [3]. Mustofa dan Rustan Hatib dengan sistem pasif menghasilkan kesimpulan yaitu efisiensi yang diperoleh kolektor dengan pipa penerima yang dibentuk *serpentine* lebih tinggi daripada pipa penerima yang dibentuk paralel karena fluida (air) yang dipanaskan dengan energi matahari dengan pipa penerima *serpentine* mengalami perlambatan aliran yang mengakibatkan kenaikan temperatur air lebih tinggi dibandingkan pipa penerima yang dibentuk paralel. Efisiensi yang dihasilkan pada pipa penerima *serpentine* sebesar 40-50% dan pipa penerima paralel sebesar 20-30%^[4]. Pada tugas akhir ini jenis kolektor digunakan adalah kolektor panas matahari jenis kolektor plat datar dengan fluida air pada pipa penerima dibentuk *serpentine* dengan sistem aktif dan menganalisis pengaruh debit aliran fluida dan pengaruh pipa penerima yang dibentuk *serpentine*. Selanjutnya, sistem kolektor plat datar dapat dijadikan pertimbangan untuk pengembangan sistem yang lebih baik dan efisien.

2. Dasar Teori

2.1 Kolektor Panas Matahari

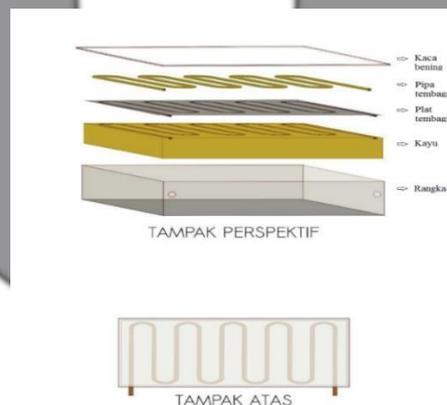
Kolektor panas matahari adalah suatu alat yang memanfaatkan energi panas matahari dengan cara mengumpulkan dan menyerap panas oleh fluida kerja yang mengalir di dalam pipa penerima pada kolektor ^[1].

2.2 Kolektor Panas Matahari Jenis Kolektor Plat Datar

Kolektor plat datar merupakan jenis kolektor yang menghasilkan temperatur 30°C - 80°C^{[1][5]}.

Kolektor plat datar terdiri dari empat elemen dasar^[6] yaitu :

1. Rangka (*casing*) kolektor yang terbuat dari kayu sebagai tempat untuk meletakkan seluruh komponen dan sebagai penyangga berat dari kolektor.
2. Isolator (kayu) berfungsi sebagai bahan yang tidak dapat menghantarkan panas sehingga mengurangi hilangnya panas dari dalam kolektor yang tidak terkena radiasi sinar matahari.
3. *Absorber* (plat tembaga dan pipa penerima) berfungsi sebagai pengumpul dan penyerap radiasi sinar matahari oleh pipa penerima dan fluida air yang mengalir didalam pipa penerima pada kolektor plat datar.
4. Penutup transparan (kaca bening) berfungsi untuk meneruskan radiasi sinar matahari yang diterima kolektor plat datar kemudian menjebak panas yang berada di dalam kolektor, serta melindungi seluruh elemen kolektor.
5. Skema gambar kolektor plat datar pada gambar berikut.



Gambar 2.1 Kolektor Plat Datar

2.3 Korelasi Variasi Kecepatan Fluida dan Luas Penampang terhadap Laju Aliran Massa

Kecepatan didefinisikan sebagai jarak perwaktu. Sedangkan laju aliran massa didefinisikan sebagai massa yang mengalir melalui suatu penampang persatuan waktu^[7].

Korelasi dari variasi kecepatan dapat merubah nilai untuk laju aliran massa yang menyebabkan tingkat efisiensi dari masing-masing variasi kecepatan akan berbeda. Persamaan kecepatan dan laju aliran massa yaitu oleh persamaan (2.1)^[7] dan persamaan (2.2)^[8].

$$v = \frac{Q}{A} \quad 2.1$$

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A$$

2.2

2.4 Efisiensi Panas

Efisiensi panas merupakan perbandingan besar energi matahari yang tertangkap oleh sistem kolektor panas. Terdiri dari pemantulan oleh plat pengumpulan cahaya matahari dan penyerapan panas oleh pipa penerima *absorber*. Persamaan untuk efisiensi panas ditunjukkan oleh persamaan berikut^[1].

$$\eta_{\text{ kolektor }} = \frac{Q_{\text{ kolektor }}}{I \times A_{\text{ kolektor }}} \times 100\% \quad 2.3$$

$$\eta_{\text{ kolektor }} = \frac{\int \eta_{\text{ kolektor }}}{A_{\text{ kolektor }}} \quad 2.4$$

$$\eta = \frac{Q_{\text{ kolektor }}}{\int I_{\text{ kolektor }}} \quad 2.5$$

2.4.1 Energi yang Diterima Medium Penerima

Energi panas yang diterima oleh fluida pada pipa penerima merupakan energi panas dari sinar matahari yang diteruskan oleh kolektor. Energi panas dapat diukur dengan menggunakan perbedaan temperatur pada fluida yang mengalir. Perbedaan yang diukur yaitu temperatur awal fluida yang masuk dan fluida yang keluar dari pipa penerima.

Nilai energi panas yang diserap oleh fluida pada pipa penerima bergantung pada laju aliran massa zat, jenis zat (kalor jenis), dan perubahan suhu awal dan akhir pada fluida kerja^[1]. Persamaan 2.6 adalah untuk menentukan energi panas yang diterima pipa penerima^[7].

$$Q_{\text{ kolektor }} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad 2.6$$

2.4.2 Energi Matahari

Energi matahari berupa energi panas yang dapat dimanfaatkan sebagai pemanas air dengan bantuan alat kolektor yang fungsinya untuk mengumpulkan dan menyerap radiasi sinar matahari^[1].

Energi panas matahari adalah energi yang berasal dari radiasi sinar matahari. Energi panas tersebut ditangkap oleh suatu permukaan kolektor dan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.7^[1].

$$Q_{\text{ kolektor }} = I \times A \quad 2.7$$

2.4.3 Hubungan antara $Q_{\text{ kolektor }}$ dan ΔT

Energi panas matahari mewakili daya yang diterima kolektor ($Q_{\text{ kolektor }}$). Energi panas matahari rendah mempunyai daya yang diterima kolektor rendah, energi panas matahari tinggi mempunyai daya yang diterima kolektor tinggi. Ketika daya yang diterima rendah, perubahan temperatur kecil, ketika daya yang diterima kolektor tinggi, perubahan temperatur besar. Dapat disimpulkan bahwa jumlah daya yang diterima kolektor ($Q_{\text{ kolektor }}$) sebanding dengan perubahan temperatur benda^[1].

$$Q_{\text{ kolektor }} \sim \Delta T \quad 2.8$$

2.4.4 Energi Panas yang Hilang

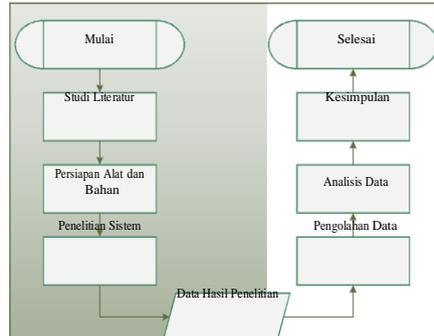
Energi panas yang ditangkap oleh kolektor plat datar tidak semua dapat diserap oleh fluida yang mengalir didalam pipa penerima. Hal ini disebut sebagai energi panas yang hilang ($Q_{\text{ hilang }}$). Nilai energi panas yang hilang diperoleh dari hasil pengurangan antara ($Q_{\text{ kolektor }}$ dan ($Q_{\text{ kolektor }}$) yang ditunjukkan oleh persamaan berikut^[1].

$$Q_{\text{ hilang }} = Q_{\text{ kolektor }} - Q_{\text{ kolektor }} \quad 2.9$$

3. Perancangan Sistem

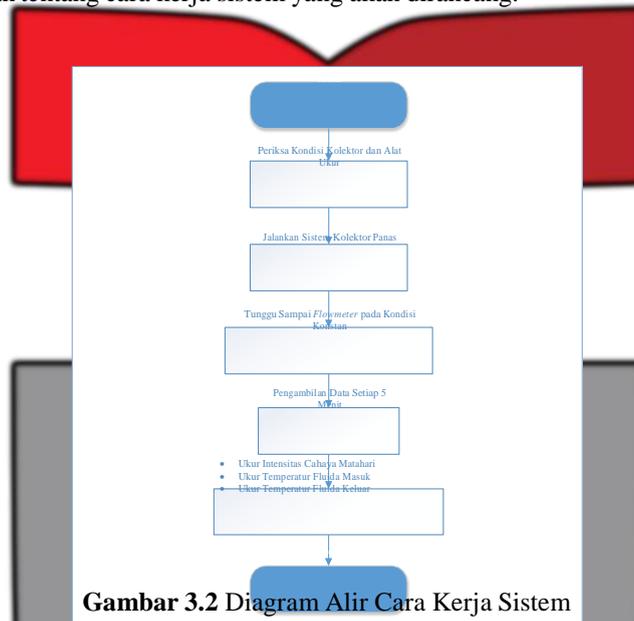
Sistem yang digunakan menggunakan sistem aktif, ketika fluida kerja melewati kolektor plat datar maka akan ada debit fluida air yang masuk pada kolektor plat datar dimana diperlukan adanya *flowmeter* untuk mengukur besar debit fluida air tersebut. Kemudian untuk mengatur debit aliran yang masuk yaitu dengan menggunakan katup dimana dalam penelitian ini debit air diatur secara manual dengan menggunakan katup agar dapat diatur 0,1 liter/menit - 0,5 liter/menit.

Selanjutnya, pengambilan data untuk temperatur fluida kerja digunakan sensor temperatur yang dipasang didalam pipa penerima pada jalur masuk dan keluar pipa penerima. Setelah itu, temperatur dapat terbaca dengan menggunakan mikrokontroler arduino uno yang telah terintegrasi oleh software arduino dengan melihat serial monitor di perangkat komputer. Kemudian solar power meter digunakan untuk mengukur sinar matahari yang berupa intensitas cahaya matahari. Berikut adalah diagram alir, skema sistem penelitian, dan blok diagram sistem penelitian.



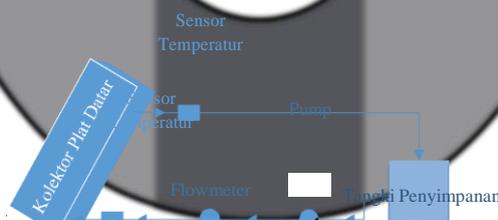
Gambar 3.1 Diagram Sistem Alir Penelitian

Jika diagram alir diatas menggambarkan tentang tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan. Diagram alir berikut ini menggambarkan tentang cara kerja sistem yang akan dirancang.



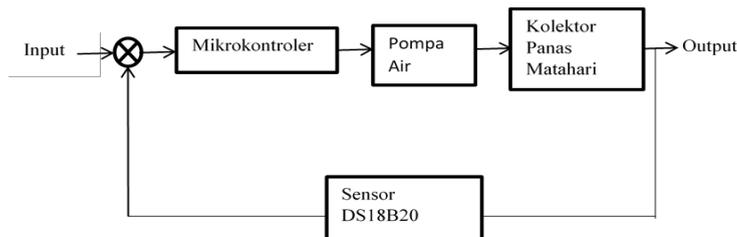
Gambar 3.2 Diagram Alir Cara Kerja Sistem

3.1 Skema Sistem Penelitian



Gambar 3.3 Skema Sistem Penelitian

3.2 Blok Diagram Sistem Penelitian



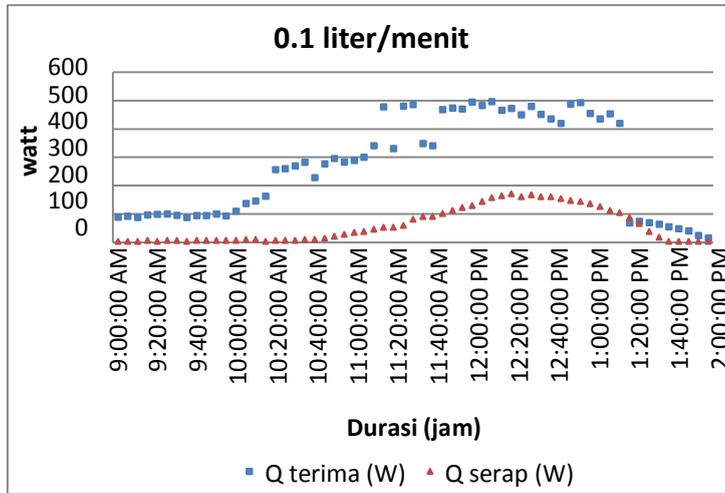
Gambar 3.4 Blok Diagram Sistem Penelitian Kolektor Plat Datar

4. Pengujian

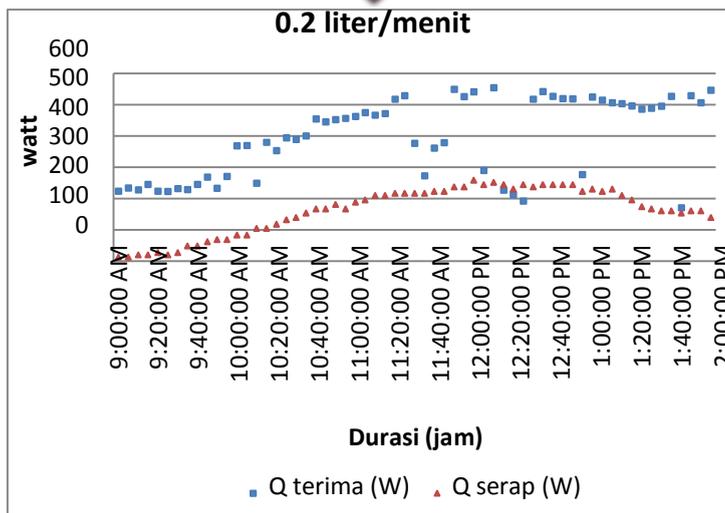
Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem yang dirancang.

4.1 Pengujian Variasi Debit Aliran Fluida

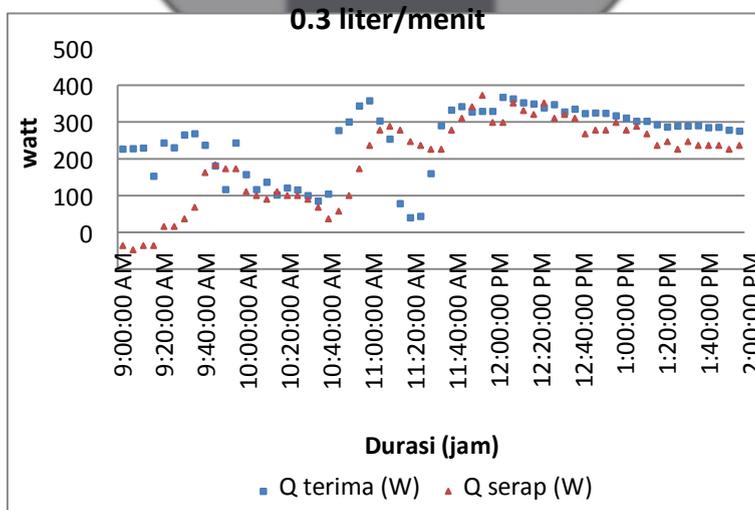
Pengujian variasi debit aliran fluida bertujuan untuk menganalisis pengaruh laju aliran fluida kerja yang mengalir terhadap efisiensi termal.



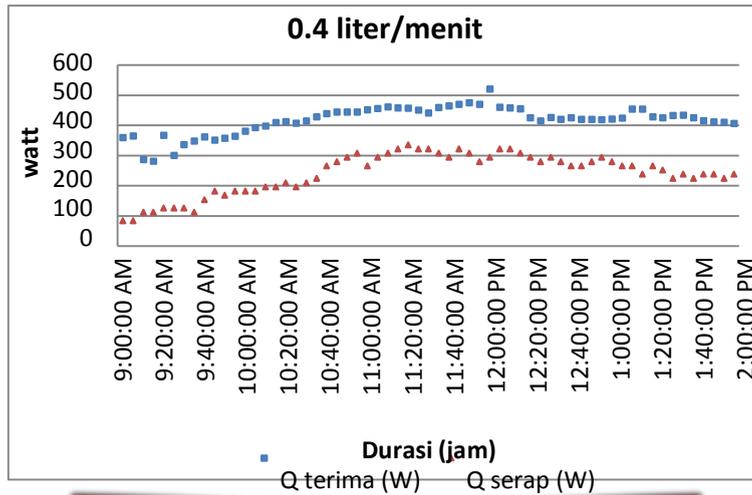
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan (Q terima) terhadap (Q serap)



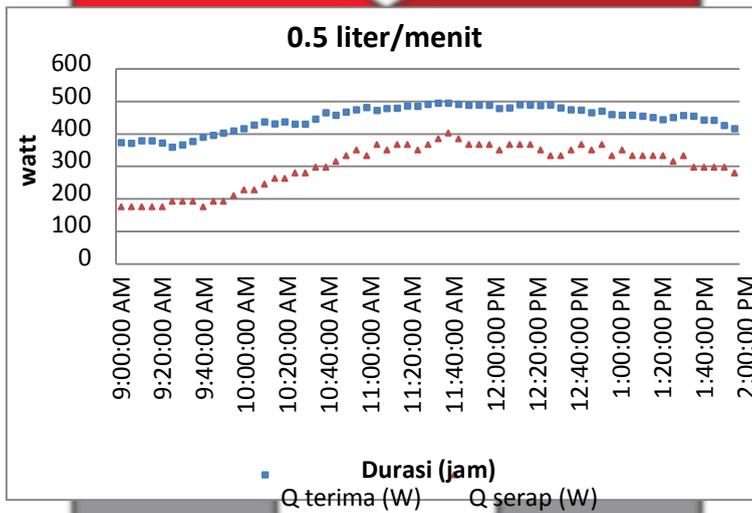
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan (Q terima) terhadap (Q serap)



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan (~~0,0000~~) terhadap (~~0,0000~~)



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan (Q terima) terhadap (Q serap)

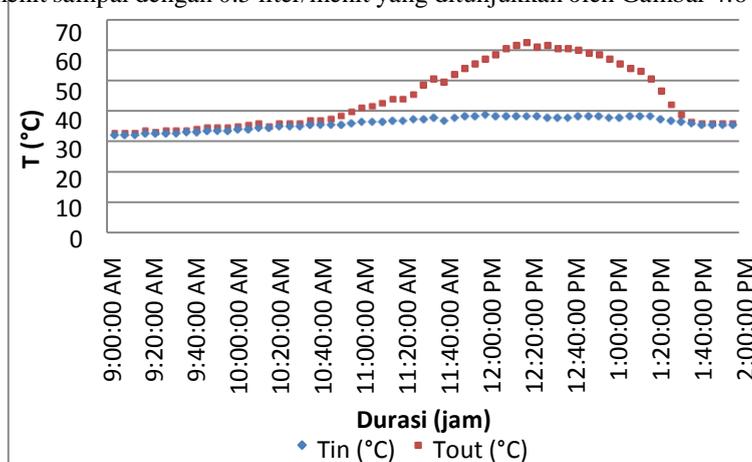


Gambar 4.5 Grafik Perbandingan (Q terima) terhadap (Q serap)

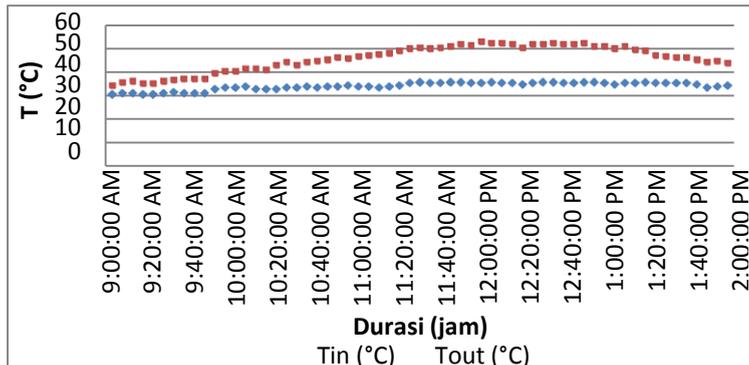
Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan nilai Q_{serap} dan Q_{terima} yang memiliki rata-rata terbaik sesuai dengan gambar 4.3. Nilai rata-rata yang didapat adalah $Q_{serap} = 298 \text{ W}$; dan $Q_{terima} = 351 \text{ W}$.

4.3 Perbandingan Variasi Debit Aliran Fluida terhadap Efisiensi

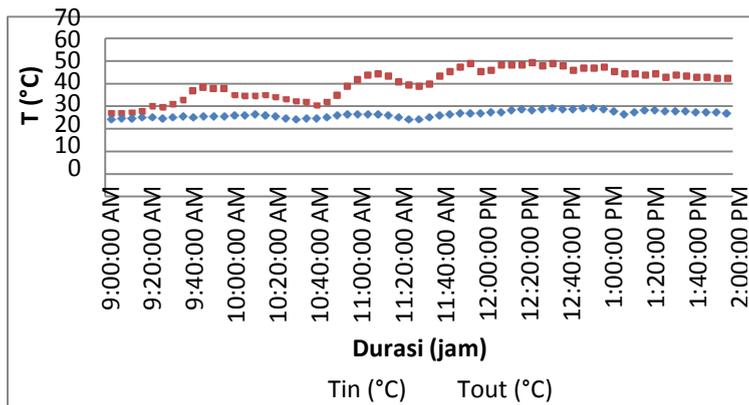
Data yang diperoleh merupakan data temperatur fluida akhir dan awal, pada setiap variasi debit aliran fluida dari 0.1 liter/menit sampai dengan 0.5 liter/menit yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6 sampai dengan 4.10.



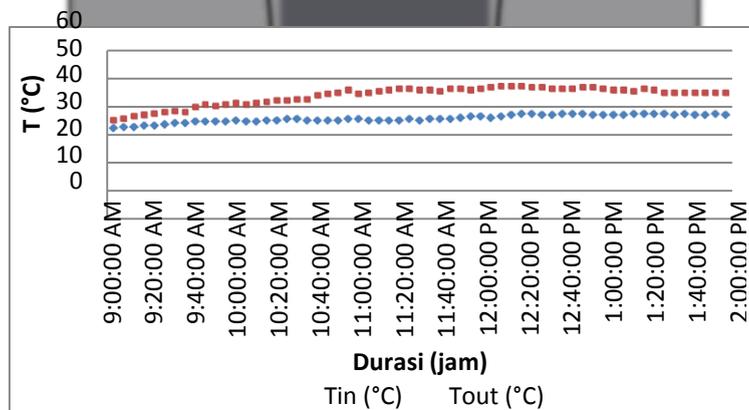
Gambar 4.6 Grafik Temperatur terhadap Waktu pada Debit 0.1 liter/menit



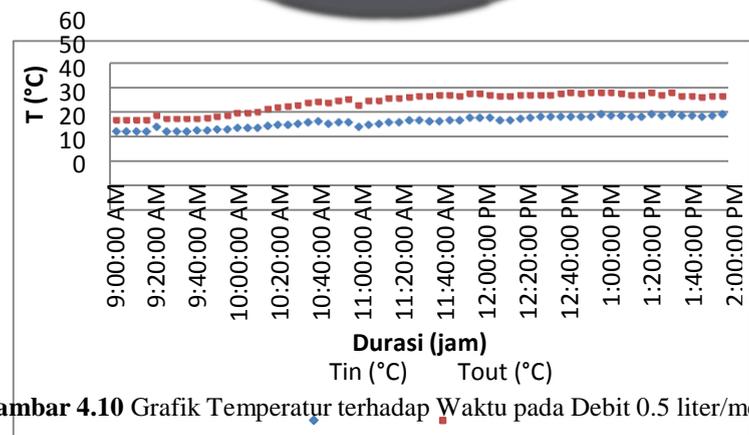
Gambar 4.7 Grafik Temperatur terhadap Waktu pada Debit 0.2 liter/menit



Gambar 4.8 Grafik Temperatur terhadap Waktu pada Debit 0.3 liter/menit



Gambar 4.9 Grafik Temperatur terhadap Waktu pada Debit 0.4 liter/menit



Gambar 4.10 Grafik Temperatur terhadap Waktu pada Debit 0.5 liter/menit

Berdasarkan Gambar 4.3 bahwa nilai ΔT dari fluida air untuk pipa penerima dengan debit 0.3 liter/menit lebih besar dari pada ΔT lainnya karena intensitas matahari cenderung lebih besar dibandingkan dengan debit aliran fluida yang lainnya, hal ini dikarenakan (1) yang diterima kolektor dipengaruhi oleh intensitas matahari yang diterima mengalami nilai fluktuatif (2) yang diterima kolektor dipengaruhi oleh kenaikan ΔT pada fluida. Nilai (1) dipengaruhi oleh faktor seperti jumlah massa dan area pada fluida. Sehingga diusahakan selanjutnya, efisiensi panas diperoleh dengan membandingkan nilai (1) dan (2) yang menghasilkan efisiensi panas untuk masing-masing kondisi pengujian variasi pada pipa penerima ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Perbandingan Variasi Debit Aliran Fluida terhadap Efisiensi

Debit (liter/menit)	V (m/s)	ΔT (°C)	Qterima (J)	Qserap (J)	Efisiensi (η)
0.1	0.00585	8.5573	82251.192	18252.865	22 %
0.2	0.00117	12.426	119135.646	52569.474	44 %
0.3	0.01755	14.196	105309.911	89932.5	85 %
0.4	0.02340	8.5983	125227.234	72625.06	58 %
0.5	0.02925	8.6229	134523.097	90912.136	68 %

Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Efisiensi terhadap Temperatur Rata-rata

Berdasarkan Tabel 4.1. menghasilkan nilai efisiensi panas terbesar yaitu 85%. Beberapa faktor yang mempengaruhi data selama pengujian yaitu kondisi intensitas matahari yang fluktuatif dan adanya (1) yaitu bahwa (2) tidak sepenuhnya diterima oleh kolektor, sebagian diserap oleh fluida dan sebagian hilang akibat konveksi ke udara

5. Kesimpulan

Debit aliran fluida kerja mempengaruhi nilai (1) dimana (2) berbanding lurus dengan debit aliran fluida, semakin besar nilai dari debit aliran fluidanya, semakin besar juga nilai dari (3) dan nilai dari (4) juga dipengaruhi oleh nilai dari ΔT pada fluida.

Intensitas matahari mempengaruhi nilai efisiensi panas dimana semakin tinggi nilai intensitas matahari maka nilai dari (5) juga semakin tinggi.

Pengujian dengan efisiensi panas rata-rata paling baik pada penelitian ini yaitu 68% dengan debit aliran fluida 0.5 liter/menit tetapi, pada pengujian ini pada debit aliran fluida 0.3 liter/menit nilai efisiensi lebih besar menunjukkan keadaan anomali dimana penurunan (6) yang drastis tetapi nilai dari (7) tetap atau tidak berubah secara signifikan, ini disebabkan adanya pengaruh dari bahan atau material dari absorber yang berfungsi sebagai sumber energi cadangan ketika sumber energi utama (matahari) berkurang atau naik turunnya intensitas panas matahari (*efek Thermal mass*)

6. Daftar Pustaka

- [1] Kalogirou, Soteris A. 2009. *Solar Energy Engineering : Processes And System*. USA: Elsevier Ltd.
- [2] Karman, Firda Fara., A. Ganesa Nawan Surya, Talitha S. Ekaputri, Herdianto, Firman. 2015. *Penyimpanan energi panas untuk meningkatkan kinerja pemanas air tenaga surya dengan konsentrator semi silindris*. Departemen Teknik Mesin Fakultas Politeknik Negeri Ujung Padang.
- [3] Sulaeman., Darul Mapasid., 2013. *Analisis Efisiensi Kolektor Surya Plat Datar dengan Debit Aliran Fluida 3-10 liter/menit*. Padang : Teknik Mesin Institut Teknologi Padang.
- [4] Mustofa, Rahman Y.A., Hatib, R., 2013. *New Copper Tube Configuration of Solar Water Heating Collector*. Teknik Mesin Universitas Tadulako.
- [5] Goswami, D, Y., Kreith, F., Kreider, J. F. 1999. *Principles of Solar Engineering*, 3rd edition, Taylor & Francis.
- [6] Duffie, John A dan Beckman, William A. 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: Inc New York.
- [7] Holman, J.P. 1986. *Heat Transfer 6th Edition*. McGraw-Hill, Ltd., Inc.
- [8] Cheng, Yunus A. 2003. *Heat Transfer 2nd Edition*.
- [9] Noor, M. Fathuddin. 2005. *Efek Penggunaan Thermal Mass Pada Solar Crop Dryer Terhadap Temperatur Aliran Udara*. Purwokerto: Intuisi Teknologi dan Seni.